



## Kan man forudsige brugernes adfærd?

Andersen, Rune Korsholm; Kirstein, Maren Lea

*Published in:*  
H V A C Magasinet

*Publication date:*  
2017

*Document Version*  
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*  
Andersen, R. K., & Kirstein, M. L. (2017). Kan man forudsige brugernes adfærd? *H V A C Magasinet*, 53(2), 22-28.

---

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# Kan man forudsige brugernes adfærd?

I de fleste værktøjer til simulering af bygningers indeklima og energiforbrug er det kun i begrænset omfang muligt at tage højde for brugernes indflydelse på indeklimaet og energiforbruget. IEA EBC Annex 66 skal definere standarder for brugeradfærdsmodeller, som kan integreres i eksisterende bygningssimuleringsprogrammer

Af seniorforsker Rune Korsholm Andersen og studerende Maren Lea Kirstein, begge Institut for Byggeri og Anlæg, DTU

I de fleste værktøjer til simulering af bygningers indeklima og energiforbrug er det kun i begrænset omfang muligt at tage højde for brugernes indflydelse på indeklimaet og energiforbruget. Det kan føre til dårlig overensstemmelse mellem de beregnede og målte energiforbrug – f.eks. ses det ofte, at de beregnede effekter af energiforbedringer stemmer dårligt overens med de besparelser, der reelt opnås. Dette fænomen er i den internationale litteratur blevet kendt under navnet ”The performance gap” (De Wilde 2014). I et internationalt forskningssamarbejde under det internationale energiagentur, IEA EBC Annex 66, forsøges det at definere standarder for udviklingen af brugeradfærdsmodeller, som kan integreres i eksisterende bygnings-simuleringsprogrammer. Dette sker ved at skabe en dybere forståelse for brugeradfærds indflydelse på bygningers indeklima og energiforbrug. Fra dansk side deltager universiteterne DTU, AAU og SDU. Som en del af arbejdet i Annex 66, er der udviklet en række stokastiske modeller af vinduesåbningsadfærd, termostatinstillinger, brug af solafskærmning osv. Mange af disse modeller

kan på forskellig vis implementeres i dynamiske simuleringsprogrammer som BSim, IESVE, IDA ICE eller EnergyPlus. Modellerne er udviklet på baggrund af målinger foretaget i bygninger rundt omkring i verden, med det formål at kunne lave mere realistiske simuleringer af indeklima og energiforbrug. I de artikler, der præsenterer modellerne, hævdes det ofte, at de kan bruges til at lave realistiske simuleringer – dvs. det hævdes, at modellerne i nogen grad kan forudsige brugernes adfærd. Men kun meget få af modellerne er blevet testet imod målinger. I denne artikel har vi beskrevet, hvordan detaljerede indeklimamålinger blev brugt til at undersøge, hvor gode modeller af vinduesåbningsadfærd og termostatinstilling var til at forudsige forholdene i danske lejligheder.

## Målingerne

Målingerne blev foretaget som led i projektet Energi- og brugerdreven bygningsfornyelse støttet af Udlændinge-, Integrations- og Boligministeriet og bestod af detaljerede indeklimamålinger i fem lejligheder i en ejendom i København. Desuden blev der udført en spørgeskemaundersøgelse om beboernes vaner mht. lys og andre elforbrugende apparater. I en periode på to måneder, blev der hvert femte minut målt temperatur, CO<sub>2</sub>-koncentration og relativ luftfugtighed i stuen og i

et soveværelse. Målingerne blev foretaget i to forskellige typer lejligheder i den samme ejendom.

## Stokastiske modeller

Det er de færreste mennesker, der opfører sig efter et 100 procent forudsigeligt mønster. F.eks. starter de færreste tilberedelse af aftensmaden på præcis samme tidspunkt hver dag. Men set over mange dage, har de fleste et specifikt mønster. Oftest vil sandsynligheden for at påbegynde madlavningen stige, efterhånden som eftermiddagen/aftenen skrider frem. På samme måde har de

deller til at forudsige en sandsynlighed for, at en eller flere handlinger foretages. Disse modeller kan formuleres på mange måder og på basis af mange forskellige parametre. Som regel bruges en form for regressionsanalyse til at beregne en sandsynlighed for en handling (åbne/lukke et vindue eller skrue op/ned for varmen) på baggrund af indeklima og vejrdato. Når modellerne implementeres i et simuleringsprogram, sammenlignes den beregnede sandsynlighed med et tilfældigt tal for at afgøre, om handlingen udføres eller ej. Det er de i tabel 1 anførte inde-

Stokastiske modeller genereret ud fra Indeklima- og vejrpåparametre	
Indendørs	Vejr
CO <sub>2</sub> koncentration [ppm]	Luft temperatur [°C]
relativ luftfugtighed [%]	relativ luftfugtighed [%]
indendørs luft temperatur [°C]	vind hastighed [m/s]
	solstråling [W/m <sup>2</sup> ]
	solskinstimer [t].

Tabel 1. Målte indendørs og udendørs parametre, som danner grundlag for de stokastiske brugeradfærdsmodeller.

fleste mennesker en stigende tendens til at åbne vinduet, når temperaturen stiger og/eller luftkvaliteten forringes. Men det er sjældent ved præcis samme temperatur, at vinduet åbnes eller lukkes. Derfor kan hver enkelt handling aldrig forudsiges 100 procent. I stedet kan man bruge stokastiske mo-

klima- og vejrpåparametre, som har dannet baggrund for de stokastiske modeller, som blev undersøgt i denne artikel. På baggrund af ovennævnte indeklima- og vejrpåparametre er der blev udarbejdet flere forskellige stokastiske brugeradfærdsmodeller, som alle er blevet sammenlignet direkte med ►

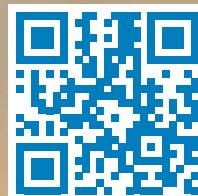
The background of the advertisement is a close-up photograph of a white plastic pipe being connected to a metal fitting. The fitting is a complex, multi-ported metal component with a yellow label that reads 'uponor u-16'. The pipe is inserted into one of the ports of the fitting. The background is slightly blurred, showing more of the pipe and the fitting.

uponor

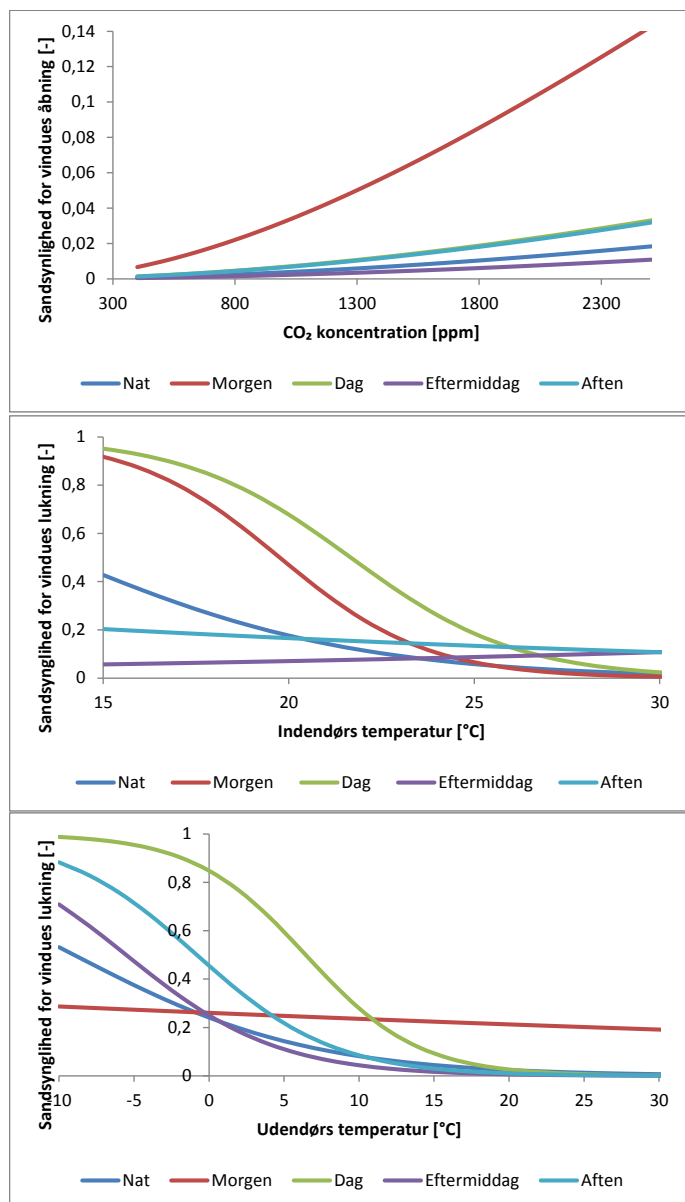
# Uponor MLC-system

Til synlige varme- og  
brugsvandsinstallationer

- **Ingen spildtid:**  
Ingen afgratning og ingen kalibrering
- **Bredt sortiment:**  
Fra 16-110 mm og kan dække de fleste behov og installationsopgaver
- **Stor tilgængelighed:**  
Systemet ligger på lager hos alle landets grossister
- **Smarte fittings:**  
Optimal lækageindikering under trykprøvning og enkle farvekoder, så de er lette at skelne fra hinanden
- **Gennemtestet teknologi:**  
Systemet har været på markedet i over 25 år



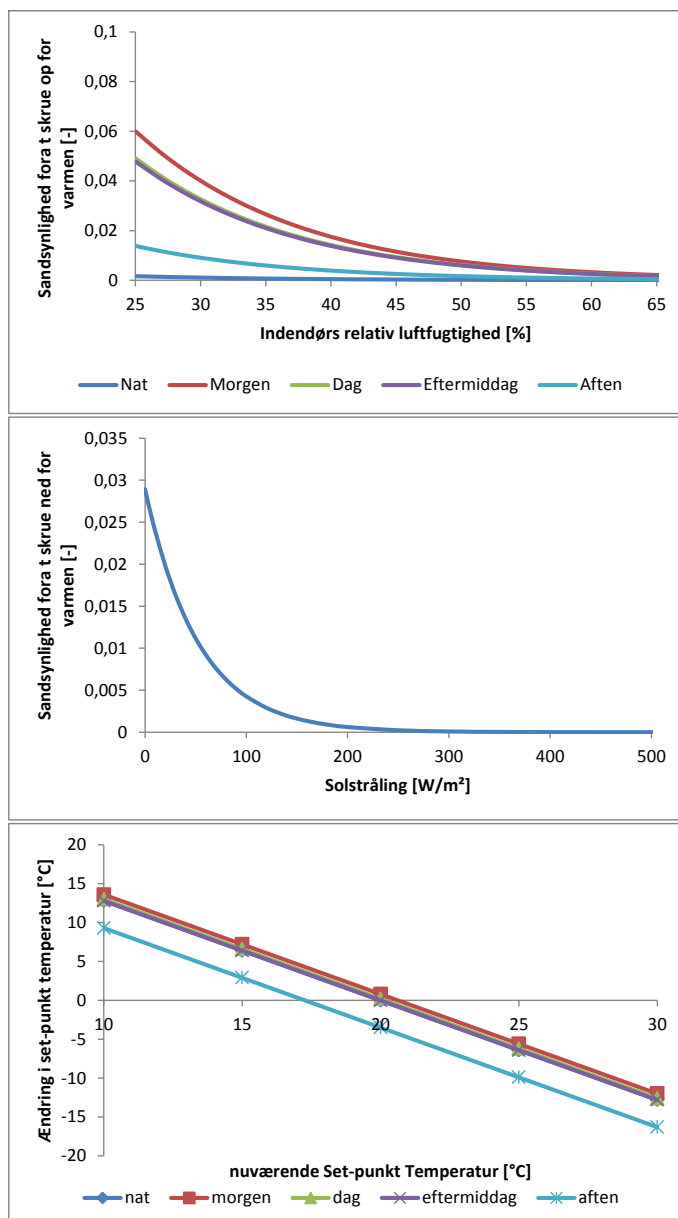
[www.uponor.dk](http://www.uponor.dk)



Figur 1. Grafisk anskueliggørelse af sandsynligheden for, at vinduerne åbnes og lukkes baseret på Group 3 brugeradfærdsmodellen, som styrer vinduer.

åbning. Modellerne for termostatindstillingen er beskrevet i (Fabi et al. 2013). Vi har testet kombinationen af disse modeller ved at sammenligne med målingerne fra de fem lejligheder. I det følgende af artiklen vil det være disse modeller, som vil blive beskrevet. Figur 1 anskueliggør modellerne af vinduesåbning samt

termostatindstilling og hvordan sandsynligheder for at åbne og lukke vinduer eller regulere termostaten påvirkes af de enkelte indeklima- og vejrpåvirkede parametre. Sandsynligheden for at åbne vinduet, stiger med stigende  $\text{CO}_2$ -koncentration, er højest om morgenen og i mindre grad påvirket om dagen, aftenen, nat-



## Kan man forudsige... Fortsat

målinger af vinduesposition foretaget i 2010 (Andersen et al. 2016). I denne sammenligning var der god overensstemmelse mellem nogle af modellerne og målingerne, mens andre modeller var dårlige til at forudsige beboernes adfærd. De modeller, der gav gode overensstemmelser med målingerne

var karakteriseret af, at  $\text{CO}_2$ -koncentrationen spillede en rolle for vinduesåbninger og udendørstemperaturen for vindueslukningen. Populært kan man sige, at beboerne åbnede vinduerne, når luftkvaliteten var dårlig og lukkede dem, når det var koldt udenfor. Modellen for vinduesåbningsadfærd refereret til som Group 3 i (Andersen et al. 2013) er en af disse modeller, hvor  $\text{CO}_2$ -koncentrationen er en aktiv parameter for beregningen af sandsynligheden for vindues-

Figur 2. Grafisk anskueliggørelse af sandsynligheden for, at radiatorerne skrues op (øverst) eller ned (midt) baseret på én af de brugeradfærdsmodeller som styrer radiatorer. Ændringen i set-punktet beregnes ud fra den nederste graf.



# NY INNOVATIV BOLIGVENTILATION SIKRER HØJ KOMFORT

**ComfoAir Q er en ny generation af varmegenvindingsaggregater. Velegnet til både nybyg og renovering.**

- Nyudviklet og patenteret diamantformet varmeveksler med høj varmegenvinding op til 94% jvf. Ecodesign 1253/2014
- Nyeste ventilatorteknologi giver støjsvag og energisparende drift
- Modulerende by-pass
- Højre/venstre model i samme unit
- A+ og passivhus-certificeret

## **Seminar om boligventilation**

22. marts i Hørning  
23. marts i Aalborg  
29. marts i Hvidovre  
30. marts i Odense

Læs mere på [www.venti.dk](http://www.venti.dk)



## ► Kan man forudsige... *Fortsat*

ten og eftermiddagen i nævnte rækkefølge.

Sandsynligheden for at lukke vinduet er højst ved lave indendørs- og udendørstemperaturer. Om dagen er det både inde- og udetemperaturen, der er afgørende for sandsynligheden for at lukke vinduet. Om morgenen og aftenen afhænger sandsynligheden primært af hhv. indetemperaturen og udetemperaturen.

Modellen for at skrue op på termostaten har primært et positivt udfald om morgenen og aftenen, når luftfugtigheden er

lav indenfor. Sandsynligheden for at skrue ned for termostaten falder med stigende solstråling. Når termostatindstillingen justeres, afgøres det hvor meget, der skrues op/ned bl.a. ud fra den nuværende termostatinstilling. For en mere detaljeret beskrivelse af modellerne henvises til (Andersen et al. 2013; Fabi et al. 2013).

### Metode

De stokastiske modeller af brugerens adfærd blev implementeret i det dynamiske simuleringssprogram IDA ICE, og en model af to lejligheder blev opbygget. Brugeradfærdsmodellerne er stokastiske, hvilket betyder, at identiske simuleringer giver forskellige resultater. I stedet for ét tal for resultater som f.eks. energiforbrug eller overophedningstimer, resulterer simuleringerne i en sandsynlighedsfordeling. Sandsyn-

lighedsfordelingen fremkommer ved at foretage mange simuleringer af samme model. Vi foretog 10 simuleringer af de to lejlighedstyper, hvor vi brugte målte vejrparametre som input til simuleringen. Det simulerede elektricitetsforbrug blev defineret ud fra spørgeskemabesvarelser. Simuleringsresultaterne blev sammenlignet med indeklimamålingerne (temperatur, relativ luftfugtighed og CO<sub>2</sub>-koncentration). Opbygningen af modellerne af bygningerne blev lavet så detaljeret som muligt og det antages derfor, at eventuelle forskelle i det simulerede og målte indeklima primært skyldes forskelle på de simulerede og virkelige adfærdsmønstre.

### Resultater

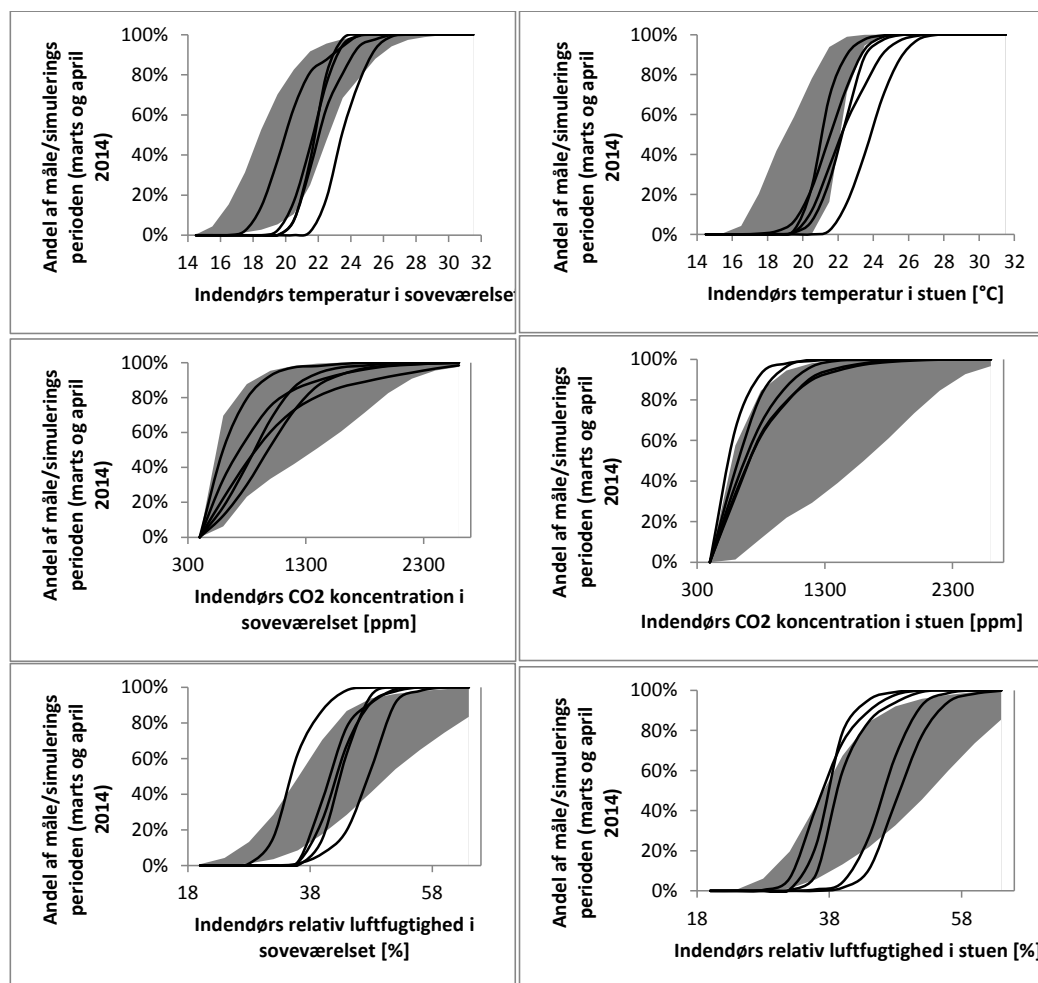
Figur 3 viser sammenligning mellem målte og simulerede indeklimaparametre. Diagram-

merne viser, hvor meget af tiden i procent de målte og simulerede parametre var under en given værdi. De grå områder indikerer de maksimale og minimale simuleringsværdier og kurverne viser de målte værdier for hver enkel af de fem lejligheder. Selvom de simulerede værdier (de grå områder) for det meste overlapper med målingerne, er det ikke alle simuleringerne, der stemmer præcist overens med målingerne.

I figur 4 på side 28 sammenlignes målingerne direkte med gennemsnitsværdierne fra de 10 simuleringer. Graferne er opdelt efter indeklimaparametrene; temperatur, CO<sub>2</sub>-koncentration og relativ luftfugtighed og værdierne vises adskilt for soveværelse og stue. Hvis simuleringerne stemte 100 procent overens med målingerne, ville resultaterne alle ligge på linjen  $y=x$  og  $R^2$  ville være 1. Fire af  $R^2$ -værdierne ligger i området 0-0,08 og de resterende to værdier er 0,21 og 0,18. Tendenslinjerne vises for hver graf for hhv. stue og soveværelse. I denne sammenligning er det tydeligt, at simuleringerne har ramt forkert i de fleste tilfælde.

Simuleringerne lå tilnærmelsesvis i samme områder som de målte værdier. Modellerne af vinduesåbningsadfærd og termostatinstilling var altså i stand til at forudsige resultater, der ligger i et realistisk interval. Den direkte sammenligning mellem simuleringer og målinger viste, at modellerne ikke kunne forudsige målingerne 100 procent. For at gøre dette skal hver enkelt handling, som brugerne foretager sig, kunne forudsiges af modellerne og det vil nok aldrig lykkes at forudsige menneskelig adfærd 100 procent.

Selvom sammenligningerne i denne artikel viste, at der stadig er en del udfordringer i forhold til at kunne simulere brugeradfærd tilstrækkelig præcist og realistisk, er det opmuntrende, at de simulerede og målte værdier var i samme intervaller. Det giver nemlig



Figur 3. Tidsdiagrammer over maks./min. simuleringsværdier (grå områder) og de målte værdier (sorte kurver) for følgende indendørsparametre: temperatur, CO<sub>2</sub>-koncentration og relativ luftfugtighed.

# Klar til energirenovering?

Rørløs ventilation er billigere i anlæg og drift



**MicroVent er rørløs og klimavenlig ventilation med 50 % lavere anlægspris end central ventilation.**

## **85 % lavere elforbrug**

MicroVent skifter luften uden rør og bruger derfor 85 % mindre el end central ventilation – til glæde for miljø og økonomi.

## **50 % billigere anlægspris**

Det rørløse design betyder, at anlægsprisen er 50 % billigere end central ventilation – både ved nybyggeri og renovering. MicroVent kan fx installeres diskret over vinduerne, som ved energirenoveringen af disse etageboliger.

## **85 % varmegenvinding**

Ved hjælp af regeneratorene bliver hele 85 % af varmen genanvendt. Det er energibesparende og sikrer høj brugerkomfort.

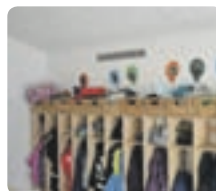
## **+7.000 enheder er installeret**

Flere end 7.000 MicroVent-enheder er allerede installeret i boliger, kontorer, skoler og daginstitutioner. Med den patenterede intelligente styring kører ventilationen efter behov og giver et optimalt og behageligt indeklima.



SUSTAINABLE VENTILATION

InVentilate ApS  
Orionvej 2  
7430 Ikast  
72 301 024  
info@inventilate.dk  
www.inventilate.dk



Se +40 referencer på  
[InVentilate.dk/referencer](http://InVentilate.dk/referencer)

## Kan man forudsige... Fortsat

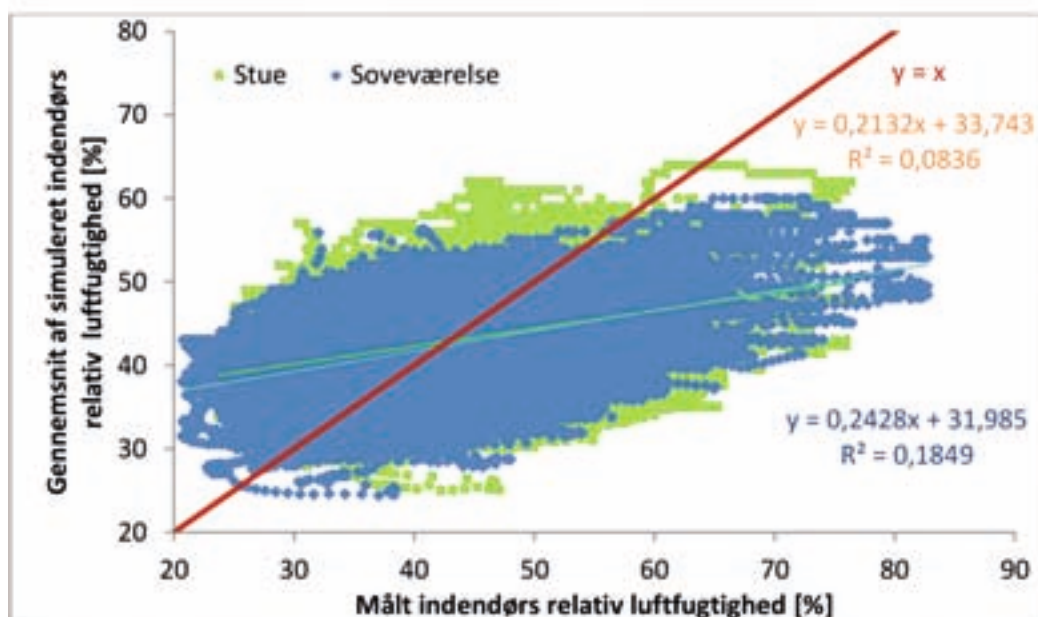
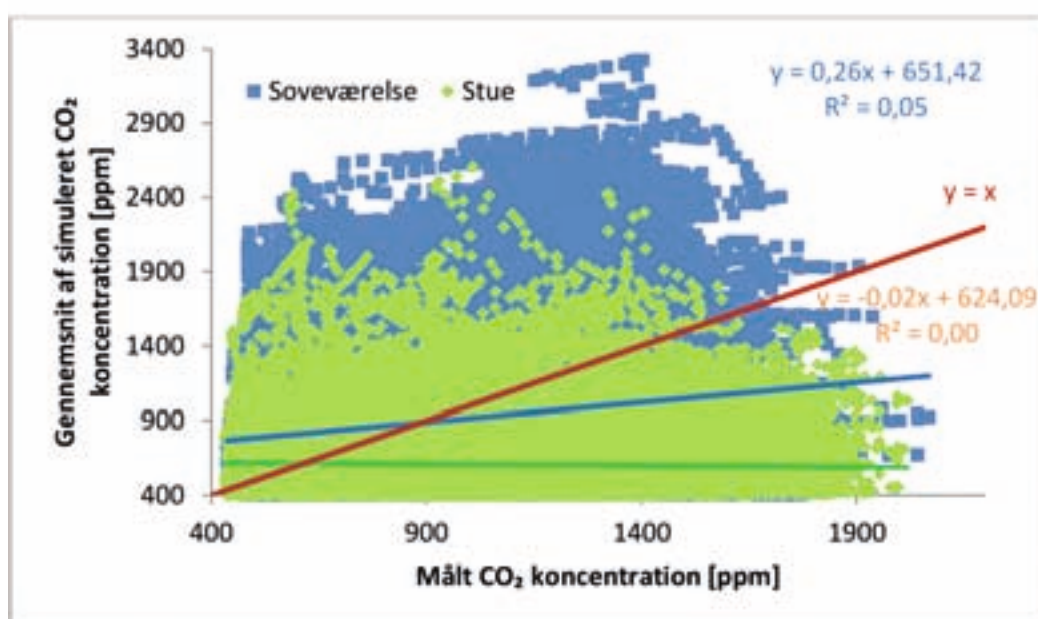
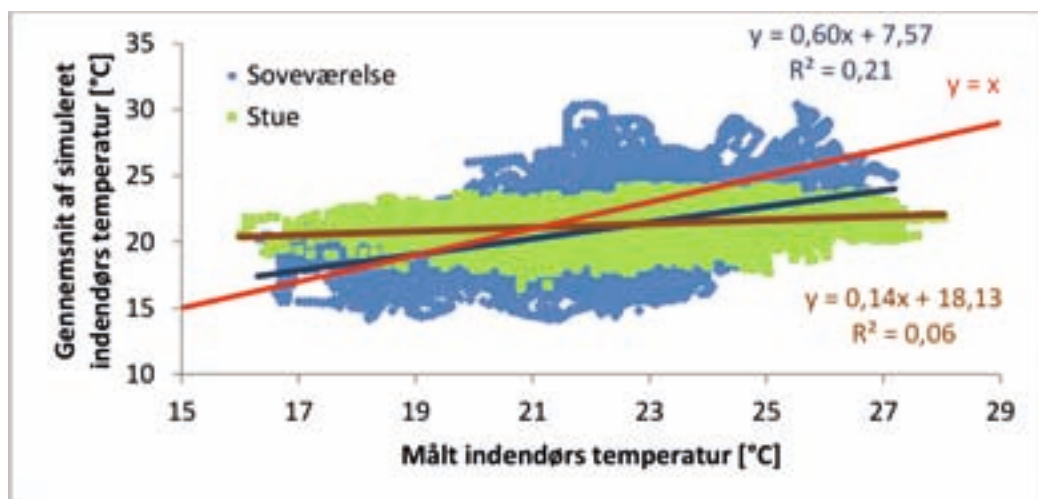
grund til at tro, at de simulerede energiforbrug også er i realistiske intervaller. Så selvom der er masser af plads til forbedring viser resultaterne, at vi er på vej til at kunne lave realistiske forudsigelser af brugernes energirelaterede aktiviteter i en bygning.

### Projektrelationer:

Energi- og brugerdreven bygningsfornyelse (UIBM Id: 130689) er støttet med byfornyelseslovens forsøgsmidler under Udlændinge-, Integrations- og Boligministeriet  
Dansk deltagelse i IEA EBC Annex 66. (64014-0133) støttet af EUDP

### Referencer:

<http://www.annex66.org/>  
Andersen, R. et al., 2013. Window opening behaviour modelled from measurements in Danish dwellings. Building and Environment, 69, pp.101-113.  
Andersen, R.K., Fabi, V. & Corngnati, S.P., 2016. Predicted and actual indoor environmental quality: Verification of occupants' behaviour models in residential buildings. Energy and Buildings, 127, pp.105-115.  
Fabi, V., Andersen, R.V. & Corngnati, S.P., 2013. Influence of occupant's heating set-point preferences on indoor environmental quality and heating demand in residential buildings. HVAC&R Research, 19(5), pp.635-645.  
De Wilde, P., 2014. The gap between predicted and measured energy performance of buildings: A framework for investigation. Automation in Construction, 41, pp.40-49.



Figur 4. Sammenligning af målinger og gennemsnitlige simuleringsresultater for temperaturen, CO<sub>2</sub>-koncentrationen og relativ luftfugtighed delt op i soveværelse og stue.